



2次元分光イメージング装置の開発による惑星・衛星外圏大気の放出過程の探査

著者	三澤 浩昭
URL	http://hdl.handle.net/10097/39686



2次元分光イメージング装置の開発による 惑星・衛星外圏大気の放出過程の探査

1 5 3 4 0 1 6 0

平成15年度～平成17年度科学研究費補助金
(基盤研究(B)) 研究成果報告書

平成18年5月

研究代表者 三 澤 浩 昭

東北大学大学院理学研究科・助教授

序

本研究では、大気密度が極めて希薄なため、地表が外圏界面となる大気(外圏大気)を持つ2つの太陽系天体、水星と木星衛星イオについて、装置開発に基づく地上観測、及び、観測結果とモデル計算との比較・検討により大気放出過程の検討を行った。観測は今後も継続して実施されるが、現時点での主な成果として、水星大気に関してはイオン・スパッタリングによる大気放出過程が従来考えられていたよりも1桁程度寄与が大きいこと、イオ大気に関しては木星磁気圏・大気圏相互作用と太陽光照射作用のカップリングが大気放出量を制御している可能性があること等が示唆されている。

研究組織

研究代表者：三澤浩昭（東北大学・大学院理学研究科・助教授）

研究分担者：森岡 昭（東北大学・大学院理学研究科・教授）

：岡野章一（東北大学・大学院理学研究科・教授）

：土屋史紀（東北大学・大学院理学研究科・助手）

研究協力者：高橋 慎（東北大学・大学院理学研究科・研究支援研究員(2004年5月迄)）

野澤宏大（立教大学・大学院理学研究科・ポスドクトラルフェロー）

園部 彩（東北大学・大学院理学研究科・修士課程学生）

交付決定額（配分額）

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成15年度	6,000,000	0	6,000,000
平成16年度	600,000	0	600,000
平成17年度	1,200,000	0	1,200,000
総計	7,800,000	0	7,800,000

研究発表

（1）本研究に直接的に関連する研究発表

・学会誌・紀要等

1. Nozawa, H., H. Misawa, S. Takahashi, A. Morioka, S. Okano and R. Sood, Relationship between the Jovian magnetospheric plasma density and Io torus emission, Geophys. Res. Let., 32, L11, doi: 10.1029/2005GL022759, 2005.
2. Takahashi, S., H. Misawa, H. Nozawa, A. Morioka, S. Okano and R. Sood, Dynamic features of Io's extended sodium distributions, Icarus, 178, 2, 346-359, 2005.
3. Kagitani, M., S. Okano, and H. Misawa, Distribution of Io's sodium corona, Proc. ISAS Lunar Planet. Symp., 38, 212-215, 2005.
4. 園部彩, 三澤浩昭, 森岡昭, 岡野章一, 数値計算による水星ナトリウム大気広域分布の成因の考察, 第27回宇宙科学研究所太陽系科学シンポジウム集録集, 9-12, 2005.
5. 野澤宏大, 三澤浩昭, 森岡昭, 岡野章一, 木星磁気圏プラズマの変動現象, 惑星電磁圏・大気圏研究会集録集, 6, 113-116, 2005.
6. 三澤浩昭, 水星外圏大気:特徴と起源, 宇宙プラズマ/太陽系環境研究会 - 水星の物理をさぐる - 集録, web公開, 2005.
7. Nozawa, H., H. Misawa, S. Takahashi, A. Morioka, S. Okano, and R. Sood,

- Long-term variability of [SII] emissions from the Io plasma torus between 1997 and 2000, *J. Geophys. Res.*, 109, A7, doi:10.1029/2003JA010241, 2004.
8. K. Kagitani, H. Misawa, S. Okano, Variability of the mass loading in the Io plasma torus, *Proc. ISAS Lunar Planet. Symp.*, 37, 147-150, 2004.
 9. 鍵谷将人, 三澤浩昭, 岡野章一, イオプラズマトーラスでの共回転遅延の観測, 惑星電磁圏・大気圏研究会集録, 5, 143-146, 2004.
 10. 亀田真吾, 野澤宏大, 吉川一朗, 笠羽康正, 三澤浩昭, 鍵谷将人, 水星ナトリウム大気光の地上観測, 惑星電磁圏・大気圏研究会集録, 5, 95-98, 2004.

・口頭発表

1. 園部彩, 三澤浩昭, 森岡昭, 岡野章一, 水星ナトリウムテールの起源:数値計算による考察, 日本惑星科学会 2005 年秋季講演会, 会津大学, 会津若松, 2005 年 9 月
2. 鍵谷将人, 三澤浩昭, 岡野章一, 補償光学を用いた木星衛星イオ周辺ナトリウムコロナの分布, 第 118 回地球電磁気地球惑星圏学会総会, 京都大学, 京都, 2005 年 9 月
3. 園部彩, 三澤浩昭, 森岡昭, 岡野章一, 数値計算による水星ナトリウム大気広域分布の成因の考察, 第 118 回地球電磁気地球惑星圏学会総会, 京都大学, 京都, 2005 年 9 月
4. 亀田真吾, 鍵谷将人, 野澤宏大, 吉川一朗, 三澤浩昭, 岡野章一, 中村正人, 水星外圏ナトリウムの観測, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 幕張メッセ, 千葉, 2005 年 5 月
5. 園部彩, 三澤浩昭, 森岡昭, 岡野章一, 水星ナトリウムテールの起源:数値計算による考察, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 幕張メッセ, 千葉, 2005 年 5 月
6. 鍵谷将人, 三澤浩昭, 岡野章一, 木星衛星イオ周辺ナトリウムコロナの分布, 第 38 回月・惑星シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部, 相模原, 2005 年 7 月
7. 園部彩, 三澤浩昭, 森岡昭, 岡野章一, 数値計算による水星ナトリウム大気広域分布の成因の考察, 第 27 回太陽系科学シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部, 相模原, 2005 年 12 月
8. Nozawa, H., H. Misawa, S. Takahashi, A. Morioka, S. Okano and R. Sood, Relationship Between Jovian Magnetospheric Plasma Density and Io Torus Emissions, *Magnetospheres of outer planets*, University of Leicester, UK, Aug. 2005
9. Kameda, S., M. Kagitani, H. Nozawa, I. Yoshikawa, H. Misawa, S. Okano and M. Nakamura, Ground-based observation of sodium in Mercury's exosphere, AOGS 2005 Annual General Meeting, Suntec Singapore, Singapore, July 2005
10. Kameda, S., M. Kagitani, H. Nozawa, I. Yoshikawa, H. Misawa, S. Okano and M. Nakamura, Latitudinal distribution of sodium in Mercury's exosphere, American Geophysical Union Fall Meeting, Moscone convention center, San Francisco, USA, Dec. 2005
11. Kagitani, M., H. Misawa and S. Okano, AO Observation of Io's Sodium Corona, American Astronomical Society, Division for Planetary Sciences 37th annual meeting, Univ. Cambridge, Cambridge, UK, Sep. 2005
12. Sonobe, A., H. Misawa, A. Morioka and S. Okano, Numerical simulation of Mercury's sodium tail, 10th Scientific Assembly of the IAGA, Congress center, Toulouse, France, July 2005

13. 三澤浩昭, 水星外圏大気:特徴と起源, 宇宙プラズマ/太陽系環境研究会 - 水星の物理をさぐる, 関西セミナーハウス, 京都, 2005 年 1 月
14. 鍵谷将人, 三澤浩昭, 岡野章一, イオプラズマトーラスでのマスローディングの変動 - ファブリペローイメージャによる観測結果, 第 116 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 愛媛大学, 松山, 2004 年 9 月
15. 鍵谷将人, 三澤浩昭, 岡野章一, Variability of the mass loading in the Io plasma torus, 第 37 回月・惑星シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部, 相模原, 2004 年 8 月
16. 鍵谷将人, 三澤浩昭, 岡野章一, イオプラズマトーラスでの共回転遅延の観測, 惑星電磁圏・大気圏研究会, 東北大学, 仙台, 2004 年 3 月
17. Takahashi, S., A. Morioka, S. Okano, H. Misawa, H. Nozawa and M. Kagitani, Relation between extended sodium distribution originated from Io and around Io, IUGG 2003 meeting, Royton Sapporo, Sapporo, Japan, July 2003
18. Nozawa, H., H. Misawa, S. Takahashi, A. Morioka and S. Okano, Implication for the solar wind effect on the Io plasma torus, IUGG 2003 meeting, Royton Sapporo, Sapporo, Japan, July 2003
19. 高橋慎, 三澤浩昭, 野澤宏大, 森岡昭, 岡野章一, 木星衛星イオ起源ナトリウム原子分布の光学観測データを用いた木星磁気圏環境の観測的検証, 第 25 回太陽系科学シンポジウム, 宇宙科学研究所, 相模原, 2003 年 12 月
20. 高橋慎, 三澤浩昭, 森岡昭, 岡野章一, 野澤宏大, 木星衛星イオからのピックアップイオンの熱化について, 第 113 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 富山大学, 富山, 2003 年 11 月
21. 亀田真吾, 野澤宏大, 吉川一朗, 笠羽康正, 三澤浩昭, 鍵谷将人, 水星ナトリウム大気光の地上観測, 第 113 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 富山大学, 富山, 2003 年 11 月

・出版物

なし

(2) 本研究に間接的に関連する研究発表

・学会誌・紀要等(研究代表者または分担者が主著の発表のみ記載)

1. Morioka, A., H. Nozawa, H. Misawa, F. Tsuchiya, Y. Miyoshi, T. Kimura, and W. Kurth, Rotationally driven quasi-periodic radio emissions in the Jovian magnetosphere, J. Geophys. Res., in-printing
2. Misawa, H., F. Tsuchiya, S. Nomura, A. Morioka, Y. Miyoshi, and T. Kondo, Investigation of dynamics of the Jovian radiation belt by a multi-frequency observation of the synchrotron radiation, Proc. ISAS Lunar Planet. Symp., 38, 200-203, 2005.
3. 土屋史紀・三澤浩昭・渡邊拓男・野村詩穂・今井浩太・森岡昭・三好由純・近藤哲朗, 木星シンクロトロン放射観測により調べる木星放射線帯ダイナミックス, 惑星電磁圏・大気圏研究会集録, 6, 97-100, 2005.
4. Misawa, H., H. Nozawa, A. Morioka, and F. Tsuchiya, How tenuous is Jupiter's polar upper ionosphere? - Diagnosis by using Jupiter's auroral radio emission -, Proc. 2nd Kanazawa workshop on Waves in Plasmas and Electromagnetic Applications, 69-70, 2006.
5. Morioka, A., H. Nozawa, H. Misawa, F. Tsuchiya, Y. Miyoshi, T. Kimura, and W.

- Kurth, Rotationally driven quasi-periodic radio emissions in the Jovian magnetosphere, Proc. 2nd Kanazawa workshop on Waves in Plasmas and Electromagnetic Applications, 61-68, 2006.
6. Morioka, A., H. Nozawa, H. Misawa, F. Tsuchiya, Y. Miyoshi, T. Kimura, W. Kurth, Rotationally driven quasi-periodic radio emissions in the Jovian magnetosphere, 生存圏波動分科会集録集, web 公開, 2006.
 7. Morioka, A., S. Yaegashi, H. Nozawa, H. Misawa, Y. S. Miyoshi, F. Tsuchiya, and S. Okano, H3+ emissions in the Jovian sub-auroral region and auroral activity, Geophys. Res. Let., 31, doi:10.1029/2004GL020390, 2004.
 8. Morioka, A., T. Yuasa, Y. Miyoshi, F. Tsuchiya, and H. Misawa, Source characteristics and radiation mechanism of Jovian anomalous continuum, J. Geophys. Res., 109, A6, doi: 10.1029/2004JA010409, 2003.
 9. 三澤浩昭, 木星磁気圏の遠隔探査 ― 地上観測機器・人工衛星からの遠隔観測の紹介 ―, 惑星電磁圏・大気圏研究会集録, 5, 69-72, 2004.
 10. 三澤浩昭, 木星圏の地上観測 -東北大の取り組み-, 第4回 CAWSES 電磁圏シンポジウム集録, 32-35, 2004.
 11. 森岡昭, 湯浅健志, 三好由純, 土屋史紀, 三澤浩昭, 木星磁気圏擾乱と低周波波動 (JAC) 放射, 第4回 CAWSES 電磁圏シンポジウム集録, 36-39, 2004.
 12. Tsuchiya, F., H. Misawa, T. Watanabe, S. Nomura, A. Morioka, Y. Miyoshi, T. Kondo, The response of the Jovian synchrotron radiation at 325MHz associated with the strong solar activity during October to November 2003, Proc. ISAS Lunar Planet. Symp., 37, 167-170, 2004.
 13. H. Misawa, Investigation of the origin of Io-related decametric radiation: Consideration of polarization characteristics, Proc. ISAS Lunar Planet. Symp., 37, 163-166, 2004.
 14. 三澤浩昭, 土屋史紀, 森岡昭, 三好由純, 渡邊拓男, 野村詩穂, 近藤哲朗, シンクロトロン放射の観測による木星内部磁気圏の探査 - スペクトル観測によるアプローチ -, 第7回波動分科会集録, web 公開, 2003.
 15. Misawa, H., F. Tsuchiya, Y. Miyoshi, H. Nozawa, A. Morioka, T. Watanabe, S. Nomura, and T. Kondo, Investigations of the Jovian inner magnetosphere by spectrum observation of synchrotron radiation, Proc. ISAS Lunar Planet. Symp., 36, 226-229, 2003.
 16. Tsuchiya, F., H. Misawa, R. Kudo, Y. Miyoshi, T. Watanabe, A. Morioka, and T. Kondo, First light of Jovian synchrotron radiation with the Iitate Planetary Radio Telescope, Proc. ISAS Lunar Planet. Symp., 36, 222-225, 2003.

・出版物
なし

研究成果による工業所有権の出願・取得状況
出願・取得なし

研究概要・成果

(1) 研究目的

水星は地球型惑星の中で最も未知の惑星である。水星に対する探査は、1970年代に実施されたマリナー10探査機のフライバイによる短時間の直接観測と、地上からの光学観測等による限られたものだが、これらは固体惑星科学的にも超高層物理学的にも水星の特異性を伝えており、サイエンス・ターゲットとして水星は興味深い惑星となっている。水星大気は地表付近でも数密度が 10^6 個/cc 程度の極めて希薄なものであり、外圏大気の状態にある。水星大気の起源として、太陽光による惑星表面粒子の光脱離過程の他に、地球等の濃い大気の場合とは異なり、惑星間空間ダストや太陽風または水星磁気圏イオン等の外来粒子による惑星表面からの叩き出し過程等の放出過程が候補とされるが、定性的な推測に留まっている。一方、木星は太陽系最大のサイズ、磁場強度、自転速度を持ち、パラエティに富んだ電磁現象を示す惑星であるが、この電磁現象を生む大切な要素として、衛星イオの火山性大気がある。即ち、この火山性大気は、木星磁気圏プラズマの90%を供給する源と考えられており、磁気圏に放出される火山性大気が磁気圏現象制御に関与する可能性が指摘されている。火山性大気はイオにおいて外圏大気状態にあるが、大気の磁気圏への放出過程については、高速でイオに相互作用する木星磁気圏共回転プラズマによる大気の叩き出し過程や、電荷交換反応過程が候補であるが、仮説の域を出ない。水星やイオの外圏大気の放出過程を解き明かすには、現段階では未だ情報が限られている大気の空間分布特性や放出粒子の速度分布特性、および、それらの時間変動特性について、連続的・系統的な観測により定量的に導出することが重要である。

水星とイオ外圏大気に共通した特性として、その希薄さとともにナトリウムの存在比が大きいことが上げられる。ナトリウム大気は太陽光の共鳴散乱により可視域で比較的明るい発光を示すが、本研究では、このナトリウム大気発光をトレーサーとして、以下の方法で外圏大気の放出過程の探査・究明を行うことを目的として進められた。

- 1) 大気発光の2次元イメージの分光で通常用いられる1次元スキャニングを行うことなく、全2次元イメージの同時刻の分光データを一度に取得することが可能な、2次元分光イメージング装置の開発。
- 2) 1)の装置を用いた2次元分光イメージング観測により可能となる、地球大気シンチレーションによる観測イメージの揺らぎの校正に基づく、外圏大気の詳細な空間分布特性および速度分布特性の導出。
- 3) 2)より得られる観測結果と、水星大気およびイオ火山性大気の放出に関するモデル計算の結果との比較・検討による放出過程の考察。

(2) 研究成果

・2次元分光イメージング装置の開発

本装置は、次元変換光学系および視野モニター光学系からなる。次元変換光学系は、入射光および出射光結像用光学系とバンドル・ファイバー系から構成される。バンドルファイバーは個々のファイバー径125 μ m、入射側配列12 \times 12(2次元)、出射側配列144 \times 1(1次元)とした。バンドルファイバーの入射側および出射側のどちらにも結像用光学系が配され、それらの光学仕様は、入射および出射側に配する集光光学系(既存の60cm口径望遠鏡システム)および分光光学系(既存の路ツェルニーター型1m光路高分散分光器)のそれぞれのF値(集光側F24、分光側F8)と、ファイバーの開口数(F2.5)を考慮し決定した。また、視野モニター光学系は、光路上で入射側結像用光学系の前にビームスプリッタを配し、次元変換光学系に入射する光の一部を視野確認用に用いる形式とし、集光レンズおよび高感度ビデオCCDを用いた形式となっている。以上の光学系を光学ベンチ上に設置し、更に同ベンチを、既存の望遠鏡および分光器に対して位置合わせするために3次元スライド式台座へ据え付けた構

成とした。

開発された2次元分光イメージング装置の光学系と、60cmφ望遠鏡（クーデ焦点）、高分散分光器および高感度冷却2次元CCDカメラを組合せ、分光性能、結像性能の最終調整を行い、木星等の試験観測を実施して装置を仕上げた。

・2次元分光イメージング装置による木星衛星イオおよび水星の外圏大気観測：現状

イオ起源大気の観測では、本研究グループの観測から、大気放出量にイオの位相角（観測者から見た木星に対するイオ位置）依存性がの存在が示唆されてきたが、その存在の確認と放出様相の確認を主な目標として観測を実施している。この観測については、木星が衝を迎えた平成18年5月上旬前後を集中観測期間として実施中であり、様々なイオ位相角について、大気の空間分布および放出速度分布が得られつつある。

一方、水星大気の観測については、発光域の短期変動の検出を目標にして、地球大気の擾乱の影響を受けにくく発光域の形状確認に適した時期（最大離角期）に観測を実施した。水星観測については平成18年度後期が集中実施時期となったが、最大離角期には天候面（晴天率・大気揺らぎ）に恵まれず、大気の放出過程導出に重要な2次元分光データが十分には得られていない。このため、水星大気観測については、次の水星最大離角時となる平成18年6月中旬にも再度観測を行う予定としている。

・数値計算による外圏大気放出機構の考察

外圏大気放出過程の主な候補として、太陽光による衛星・惑星表面照射による光スパッタリング作用、微小隕石の衛星・惑星表面衝突による気化作用、太陽風イオンや磁気圏イオンによる衛星・惑星表面への衝突によるイオン・スパッタリング作用が挙げられる。また、磁気圏中に存在するイオの場合には、衛星表面と光や粒子との直接的な相互作用とは異なり、何らかの過程により衛星表面から飛び出し、衛星の重力圏に存在する大気と磁気圏イオンとの相互作用も広意の大気放出過程と考えられる。本研究では、それらを個々に吟味し、過去に行われた、表面での相互作用の考察や室内実験の結果等に基づき、各作用による大気放出の効果の考察を進めた。手法としては、当グループが開発してきた希薄大気の生成・消失に関する計算コード（モンテカルロ法）を用い、高速計算機を導入しての数値実験によった。尚、大気損失の過程としては、過去の研究に基づき、水星大気粒子では太陽光照射による光電離、イオ大気粒子では電子衝突が支配的であるとし、ライフタイムとして数値化して計算に取り込んだ。

本研究では、本研究グループによる観測結果に加え諸外国の研究グループによる観測結果も援用し、数値計算との比較に基づき外圏大気の放出過程の考察を行った。結果として、水星大気に関しては、水星近傍の大気については従来米国の研究グループ他により提唱されてきたように、太陽光による光スパッタリングが他の放出過程に卓越して放出されていることは疑いないが、水星から数水星半径離れて広域に存在する大気については、太陽風による水星表面の大気粒子の叩出しが、従来提唱されてきたよりも一桁以上、効果的に働いている可能性を見出した（本結果は国際学会等で発表済み、また、国際誌に投稿準備中）。

一方、イオ大気に関しては、観測・データ解析結果と突き合わせた放出過程の考察を現在なお継続中であるが、従来、定量的な考察が十分にはなされていなかった、イオ位相角と太陽照射との関係が大気放出量を制御する様相について評価を進めており、木星磁気圏・大気圏相互作用と太陽光照射作用のカップリングが大気放出量を制御している可能性が示唆されている。

研究成果発表論文
(本研究に直接的に関連する論文)

本報告書収録の学術雑誌等発表論文は本ファイルに登録しておりません。なお、このうち東北大学在籍の研究者の論文で、かつ、出版社等から著作権の許諾が得られた論文は、個別に **TOUR** に登録しております。